

## Antriebsstrang zum Übertragen einer variablen Leistung

Die Erfindung betrifft einen Antriebsstrang zum Übertragen einer variablen Leistung mit variabler Eingangsdrehzahl und konstanter Ausgangsdrehzahl. Die Erfindung betrifft insbesondere Anlagen mit variabler Leistungseinbringung, wie sie bei Nutzung von natürlichen Energieaufkommen von Wind, Wasser und anderen Ressourcen aufkommen.

Die Nutzung der Windenergie wird vor allem bei Leistungen von über 1 MW interessant. Ferner ist es notwendig, die Betriebsführung der Anlage derart zu gestalten, dass eine maximale Leistungsausbeute bei minimaler dynamischer Belastung erfolgt. Um den Wirkungsgrad des gesamten Systems optimal zu gestalten, und zwar in der Phase des Hochfahrens der Anlage sowie in der Betriebsphase und beim Stillsetzen, benötigt man eine Drehzahlregelung für die Arbeitsmaschine, die auch bereichsweise durch weitere Regelungsarten (z. B. Rotorblattverstellung) unterstützt werden kann.

Im Folgenden soll daher anhand des Beispiels von Windkraftanlagen die Problematik einer zeitlich variablen Leistungsübertragung insbesondere bei einer zeitlich veränderlicher Eingangsdrehzahl und entsprechend zeitlich veränderlichem Moment dargestellt werden, wenn als Nebenbedingung bei der Leistungsübertragung eine im Wesentlichen zeitlich konstante Ausgangsdrehzahl gefordert ist.

Der Betrieb einer Windkraftanlage ist deshalb für die voranstehend dargestellte Problematik kennzeichnend, da die durch die Windkraftanlage erzeugte elektrische Energie in ein elektrisches Verbundnetz eingespeist wird, welches eine starre Netzfrequenz aufweist. Da es sich bei der Netzfrequenz um die primäre Größe zur Stabilisierung und Regelung des Netzes selbst handelt, setzt eine direkte Kopplung des Generators der Windkraftanlage voraus, dass dieser vom Antriebsstrang mit einer konstanten Drehzahl versorgt wird. Solche Windkraftanlagen werden auch als drehzahlstarre Windkraftanlagen bezeichnet.

Dabei werden für drehzahlstarre Windkraftanlagen üblicherweise Asynchrongeneratoren verwendet, die aufgrund des prinzipbedingten Schlupfes auf einfache Art und Weise auf ein Verbundnetz aufgeschaltet werden können.

Zur Systemanforderung einer konstanten Ausgangsdrehzahl am Antriebsstrang kontrastierend ist der aufgrund schwankender Windverhältnisse zeitlich variable Leistungseintrag bei Windkraftanlagen. Dabei wird diese Problematik zusätzlich durch die systeminhärente Charakteristik der mechanischen Energiewandlung der kinetischen Energie der Luftströmung in die kinetische Energie der Rotorbewegung verschärft. Bei einer drehzahlstarren Windkraftanlage liegt eine Festlegung auf eine bestimmte Rotorfrequenz oder auf wenige Rotorfrequenzen vor, wobei mehr als eine Rotorfrequenz nur dann möglich ist, falls der Generator eine Polumschaltung besitzt oder unterschiedliche Generatoren verwendet werden. Dabei wird die gewünschte Umlaufgeschwindigkeit des Rotors üblicherweise durch eine Winkelverstellung der Rotorblätter erreicht, was auch als Pitchregelung bezeichnet wird.

Nachteilig an drehzahlstarren Windkraftanlagen ist, dass sie bei Teillast, welche bei typischen Windverhältnissen häufig auftritt, nur mit verminderter Effizienz betrieben werden können.

Wird eine Windkraftanlage im Teillastbereich drehzahlvariabel betrieben, so besteht entweder die Möglichkeit, einen Antriebsstrang mit variabler oder konstanter Ausgangsdrehzahl auszubilden. Dabei ist in beiden Fällen die Ausgangsleistung aufgrund des zeitlich variierenden Momentes ebenfalls zeitlich veränderlich.

Der erste Fall führt für Windkraftanlagen zur Verwendung von Frequenzumrichtern mit einem Gleichstromzwischenkreis. Dieser Ansatz leitet aber weg von der hier dargestellten Aufgabe und ist insbesondere mit weiteren Schwierigkeiten behaftet, wie einer starken Netzrückwirkung in Verbindung mit einer erhöhten Oberschwingungsbelastung und hohen Blindleistungen.

Der zweite Ansatz, nämlich eine variable Rotordrehzahl der Windkraftanlage mit einer konstanten Generatordrehzahl zu verbinden, entspricht der hier dargestellten Thematik eines Antriebsstrangs zum Übertragen einer variablen Leistung mit einer variablen Eingangsdrehzahl und konstanter Ausgangsdrehzahl. Die bekannten Lösungen dieser Problematik, insbesondere für Windkraftanlagen, setzen im Antriebsstrang ein Überlagerungsgetriebe ein, welches zur Verzweigung bzw. Überlagerung der mechanischen Leistung verwendet wird. Bei drehzahlvariablen Windkraftanlagen sind nun zwei hierauf basierende Ansätze bekannt geworden, welche zur Konstanthaltung der Generatorfrequenz verwendet werden.

Im ersten System wird die Eingangsleistung über das Überlagerungsgetriebe auf einen großen Generator sowie einen kleinen Stellmotor aufgeteilt, wobei üblicherweise auf den Stellmotor in etwa 30 % der Eingangsleistung übertragen wird. Der Generator ist frequenzstarr mit dem Stromnetz verbunden, während der Stellmotor über einen Frequenzumrichter am Netz angeschlossen ist. Zur Stabilisierung der Generatordrehzahl wird der Stellmotor entweder als Motor oder als Generator betrieben. Auch dieses System ist nicht rückwirkungsfrei für das Stromnetz. Ferner ist ein solches System nur schwierig zu regeln und weist als Energiespeicher im Wesentlichen nur die trügen Massen des Antriebsstrangs und des Rotors auf. Des Weiteren sind aufgrund des Einsatzes von Frequenzumrichtern die Investitionskosten relativ hoch.

Im zweiten System, welches hydrostatisch arbeitet, werden anstatt des elektrischen Stellmotors hydraulische Motoren und Pumpen verwendet. Auch hier tritt die Problematik einer schwierigen Regelungscharakteristik auf, insbesondere ein trüges Ansprechverhalten und relevante Todzeiten sowie starke Nichtlinearitäten. Außerdem sind die hydraulischen Systemkomponenten aufgrund des konstruktiven Aufwands und des Gewichts nachteilig.

In der nachfolgenden Tabelle werden die dargestellten unterschiedlichen bekannten Regelungen der Wirkleistung von Windkraftanlagen zusammengefasst:

	Generator mit Umrichter	Generator mit Umrichter und Getriebe mit Festübersetzung	Generator mit Überlagerungsgetriebe
--	-------------------------	--	-------------------------------------

Systemtyp	elektronisch	einstufiges Getriebe	Getriebe	Getriebe	mit E-Motor	mit Hydrostatik
Generator	permanent integrierter Synchrongenerator	Synchrongenerator	4/6 Pol Asynchron- bzw. Synchrongenerator	4/6 Pol doppelt gespeister Asynchrongenerator	4/6 Pol Asynchron- bzw. Synchrongenerator	4/6 Pol Asynchron- bzw. Synchrongenerator
Umrichter	PWM-VSI	PWM-VSI	PWM-VSI	PWM-VSI	-	-
Getriebe		Planetenstufe	Planetenstufe	Planetenstufe	Planetenstufe + Getriebestufe mit Überlagerung	Planetenstufe + Getriebestufe mit Überlagerung
Regelung	Rotorblätter Drehzahl	Rotorblätter Drehzahl	Rotorblätter Schlupf Polumschaltung	Drosselung der Drehzahl	Rotorblätter, Drehzahl	Rotorblätter, Drehzahl

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Antriebsstrang zum Übertragen einer variablen Leistung derart zu gestalten, dass ein Leistungsaufnehmer mit einer im Wesentlichen konstanten Drehzahl beschickt werden kann, so dass der Übertragungsvorgang bei hohem Wirkungsgrad vonstatten geht und Stöße im Antriebsstrang minimiert werden. Ferner ist ein Kurzzeitenergiespeicher im Antriebsstrang auszubilden, um die Regelungscharakteristik des Systems zu verbessern. Außerdem sind die Anzahl der beteiligten Bauteile und die Investitionskosten auf niedrigem Niveau zu halten.

Diese Aufgabe wird durch die Merkmale von Anspruch 1 gelöst.

Das erfindungsgemäße Prinzip führt zu einem sehr guten Wirkungsgrad. Bei Windkraftanlagen führt der erfindungsgemäße Antriebsstrang auch bei unregelmäßigem Windprofil und damit verbunden unterschiedlichen Rotordrehzahlen zu einer Generatordrehzahl auf einem annähernd gleichmäßigen Niveau.

Bisher sind in Windkraftanlagen verschiedene Regelungs- und Steuermöglichkeiten mit mehr und minder gutem Einfluss auf den Wirkungsgrad bekannt:

- Einstellung des Rotorblattwinkels,
- variable Drehzahl des Generators,
- Schlupfregelung,
- Drosselung der Drehzahl des Generators,
- Polzahlschaltung und
- Drehzahlregelung im Überlagerungsgetriebe.

Für den erfindungsgemäßen Wirkungsmechanismus der Drehzahlregelung kann eine Kombination mit bestehenden Regelungs- und Steuermöglichkeiten, z. B. der Einstellung des Rotorblattwinkels und der Drehzahlregelung im Überlagerungsgetriebe, umgesetzt werden. Dabei wird der Rotor der Windkraftanlage immer auf seiner optimalen Kennlinie gefahren (optimaler Wirkungsgrad) und eine konstante Drehzahl an den Generator abgegeben.

Die Erfindung ist anhand der Zeichnungen näher erläutert. Darin ist im Einzelnen Folgendes dargestellt:

Fig. 1 ist eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen leistungsverzweigten Windkraftanlage mit einem hydrodynamischen Stellwandler als hydrodynamischen Kreislauf.

Fig. 2 zeigt eine Grafik, die die Drehmoment- und Leistungsaufnahmeverhältnisse eines Windrotors in Abhängigkeit von Windgeschwindigkeit und Windrotordrehzahl und die damit verbundene variable Eingangsdrehzahl des erfindungsgemäßen Antriebsstrangs sowie die konstante Ausgangsdrehzahl zum Generator veranschaulicht.

Fig. 3 stellt die Leistungsflüsse und Drehzahlen der einzelnen Zweige des mechanisch-hydrodynamischen Antriebsstrangs in Abhängigkeit der Windturbinendrehzahl dar.

Fig. 4 stellt die Leistungsflüsse und die Einstellung des Reaktionsglieds des mechanisch-hydrodynamischen Antriebsstrangs in Abhängigkeit der Windturbinendrehzahl dar.

Fig. 5 ist eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen leistungsverzweigten Windkraftanlage mit einer hydrodynamischen Kupplung als hydrodynamischen Kreislauf.

Fig. 6a-c stellen Ausführungsbeispiele für den erfindungsgemäßen Antriebsstrang dar, bei denen durch einen hydrodynamischen Kreislauf eine Verbindung zwischen einem ersten und einem zweiten Leistungszweig besteht und Bildleistung über einen zweiten Leistungszweig auf das Leistungsverzweigungsgetriebe zurückgeführt wird.

Fig. 7a-c stellen Ausführungsbeispiele für den erfindungsgemäßen Antriebsstrang dar, bei denen Leistung auf einem zweiten Leistungszweig in Vorwärtsrichtung geführt wird und durch einen hydrodynamischen Kreislauf in einen ersten Leistungszweig eingeleitet wird.

Fig. 8a-c stellen Ausführungsbeispiele für den erfindungsgemäßen Antriebsstrang dar, bei denen mittels eines ersten Leistungszweigs ein elektrischer Generator angetrieben wird und in einem zweiten, getrennten Leistungszweig ein hydrodynamischer Kreislauf den Blindleistungsfluss regelt.

Fig. 9 zeigt das Windprofil einer erfindungsgemäßen Anlage sowie die zugehörende Rotordrehzahl.

Fig. 10 zeigt schematisch den Wirkleistungsverlauf einer Windkraftanlage mit einem erfindungsgemäßen Antriebsstrang.

Fig. 11 veranschaulicht eine Regelung zur optimalen Leistungsabgabe des Rotors.

Die Rotorleistung  $p_R$  einer Windkraftanlage steht näherungsweise im folgenden Zusammenhang zur Windgeschwindigkeit  $v_w$ :

$$p_R = k \cdot c_p(v_w, \omega_R, \beta) \cdot v_w^3$$

Hierbei werden als  $k$  verschiedenen Konstanten wie etwa die Blattgeometrie sowie die Dichte der Luft zusammengefasst. Ferner bezeichnet  $c_p$  den Leistungsbeiwert, der wiederum, wie dargestellt, von der Windgeschwindigkeit  $v_w$  der Rotordrehzahl  $\omega_R$  und dem Pitchwinkel  $\beta$  abhängt. Dieser Leistungsbeiwert zeichnet sich durch ein globales Maximum aus, welches sich bei steigenden Windgeschwindigkeiten  $v_w$  zu größeren Rotordrehzahlen  $\omega_R$  hin verschiebt.

Fig. 2 zeigt diesen Zusammenhang durch die Darstellung von durchgezogenen Kurvenscharen für Wirkleistung des Rotors und von gestrichelten Kurvenscharen für das vom Rotor aufgenommene Drehmoment einer Windkraftanlage unter Berücksichtigung verschiedener Windgeschwindigkeiten, wobei die einzelnen Kurven der Kurvenscharen jeweils exemplarisch einer Windgeschwindigkeit

zugeordnet sind. Charakteristisch ist die Verschiebung der optimalen Rotordrehzahl zu höheren Werten mit steigender Windgeschwindigkeit, wobei diese auf einer in Fig. 2 dargestellten Kurve liegen, die als Parabolik bezeichnet wird. Eine drehzahlvariable Anlage kann somit in Abhängigkeit von der zur Verfügung stehenden Windgeschwindigkeit jeweils bei optimalen Leistungsbeiwerten betrieben werden.

Typischerweise sind Windkraftanlagen für bestimmte Nennleistungen, verbunden mit einer Nenndrehzahl, ausgelegt. Bei einer Windleistung oberhalb dieses Schwellwertes findet eine Leistungsbegrenzung entweder durch eine Pitchregelung oder durch Stallregelung statt, so dass für den drehzahlvariablen Betrieb einer Windkraftanlage insbesondere der Teillastbetrieb von Bedeutung ist.

Der erfindungsgemäße Antriebsstrang weist bei der Übertragung über den gesamten Drehzahlbereich einen sehr guten Wirkungsgrad auf, wobei auf das in Fig. 10 dargestellte Auslegungsbeispiel verwiesen wird, bei dem bis zu einer maximalen Übertragungsleistung von 2,5 MW mit einem Antriebsdrehzahlbereich von  $n = 10 - 18$  U/min bei konstanter Abtriebsdrehzahl von  $n = 1500$  U/min gerechnet wurde. Kurve I aus Fig. 10 zeigt den gleichmäßig hohen Wirkungsgrad und mit der Kurve II ist die für dieses Beispiel übertragene Leistung skizziert.

Für Windkraftanlagen sind mit einem erfindungsgemäßen Antriebsstrang folgende Regelungsaufgaben bzw. Betriebszustände in Abhängigkeit des Windes in Betracht zu ziehen:

- An- und Abschaltung,
- Bremsen der Rotoren,
- Betrieb mit wechselnden Windgeschwindigkeiten und
- Betrieb mit konstanten Windgeschwindigkeiten um einen optimalen Betriebspunkt.

Eine drehzahlvariable Windkraftanlage kann vorteilhafterweise mit einem erfindungsgemäßen Antriebsstrang zum Übertragen einer variablen Leistung mit einer variablen Eingangsdrehzahl und konstanter Ausgangsdrehzahl, die wiederum auf einen Generator übertragen wird, ausgebildet sein.

Fig. 1 zeigt hierzu in schematisch vereinfachter Art und Weise einen solchen erfindungsgemäßen Antriebsstrang 1. Dieser umfasst eine Eingangswelle 2, die mit dem Rotor 3 einer Windkraftmaschine wenigstens mittelbar verbunden ist. Im vorliegenden Fall ist ein Getriebe 4 mit einem konstanten Übersetzungsverhältnis zwischen dem Rotor 3 der Windkraftmaschine und der Eingangswelle 2 platziert. Ein solches zwischengeschaltetes Getriebe 4 ist vorteilhaft, jedoch nicht zwingend notwendig, es kann, je nach Anwendungsfall, dazu dienen, den Bereich möglicher Rotordrehzahlen zu erweitern und den Wirkungsgrad optimal zu gestalten.

Der erfindungsgemäße Antriebsstrang weist ein Überlagerungsgetriebe zur Leistungsverzweigung auf, das im Folgenden als Leistungsverzweigungsgetriebe 5 bezeichnet wird. Im hier dargestellten Ausführungsbeispiel wird als Leistungsverzweigungsgetriebe 5 des Antriebsstrangs 1 ein Planetenradgetriebe verwendet, wobei die Eingangswelle 2 mit dem Planetenradträger 6 in Verbindung steht. Im Leistungsverzweigungsgetriebe 5 liegen nun zwei Leistungszweige vor, der erste Leistungszweig 7 führt Leistung über das Sonnenrad 9 zur Ausgangswelle 10 des Antriebsstrangs. Diese Ausgangswelle 10 treibt wenigstens mittelbar den elektrischen Generator 11 an und steht in Wirkverbindung mit dem hydrodynamischen Stellwandler, der im vorliegenden Ausführungsbeispiel als hydrodynamischer Kreislauf 12 dient. Hierzu ist die Ausgangswelle 10 wenigstens mittelbar mit dem Pumpenrad 13 des hydrodynamischen Stellwandlers verbunden.

Vorteilhafterweise handelt es sich bei der Ausgangswelle 10 um eine schnell umlaufende Welle. In der vorliegenden Anmeldung wird unter einer schnell umlaufenden Welle eine solche verstanden, deren Drehzahl ein Vielfaches der Drehzahl der Eingangswelle 2 ist. Besonders bevorzugt wird eine typische Umlaufdrehzahl der Ausgangswelle 10, die zum direkten Betreiben des

elektrischen Generators 11 geeignet ist, beispielsweise 1500 U/min. Auch andere Drehzahlwerte für die Ausgangswelle 10 sind je nach Polzahl des elektrischen Generators 11 bzw. der vorliegenden Netzfrequenz denkbar. Vorteilhaft an der Ausbildung einer schnell umlaufenden Ausgangswelle 10 ist, dass der hydrodynamische Kreislauf 12, hier der hydrodynamischen Stellwandler, der wenigstens mittelbar mit der Ausgangswelle 10 in Wirkverbindung steht, effizient, d. h. mit hoher Drehzahl betrieben werden kann.

Als Reaktionsglied 15 wird im hydrodynamischen Wandler ein Leitrad mit Stellschaufeln verwendet, mit dem die Aufnahmleistung der Pumpe und somit der Leistungsfluss auf das Turbinenrad 14 eingestellt werden kann. Über das Turbinenrad 14 erfolgt wiederum ein Leistungsrückfluss mit Leistungswandlung auf das Hohlrad 17, der über einen zweiten, als Standgetriebe ausgebildeten Planetenradsatz 16 übersetzt wird. Dieser zusätzliche Planetenradsatz 16 ist optional, er wird jedoch bevorzugt, da durch dieses Maßnahme eine Drehzahlerhöhung auf der Ausgangswelle 10, der vorzugsweise schnell umlaufenden Welle, und eine Erhöhung der Relativdrehzahl von Pumpen- 13 und Turbinenrad 14 im hydrodynamischen Kreislauf 12 erreicht wird. Hieraus ergibt sich insbesondere die Möglichkeit den hydrodynamischen Kreislauf 12 kleinbauend auszubilden.

Der variable Leistungsrückfluss auf das Hohlrad 17 des Leistungsverzweigungsgetriebes 5 bewirkt ein variabel einstellbareres Übersetzungsverhältnis. Dies stellt den zweiten Leistungszweig 18 des Leistungsverzweigungsgetriebes dar, der im vorliegenden Ausführungsbeispiel dem Leistungsrückfluss dient. Hierbei ist der Planetenradsatz 16 als optional anzusehen. Er dient im vorliegenden Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Antriebsstrangs zur Herabsetzung der Turbinendrehzahl mit der der hydrodynamische Stellwandler betrieben werden kann. Höhere Pumpen- und Turbinendrehzahlen bewirken Effizienzsteigerung bzw. ergeben die Möglichkeit den hydrodynamischen Stellwandler kleinbauend auszubilden.

Der erfindungsgemäße Antriebsstrang mit einem hydrodynamischen Stellwandler als hydrodynamischen Kreislauf 12 ist nun so konstruktiv ausgestaltet, dass durch die Wahl der mechanischen Übersetzungen im Leistungsverzweigungsgetriebe sowie durch die Dimensionierung des hydrodynamischen Stellwandlers die parabolische Kennlinie der optimalen Leistungsaufnahme durch den Windrotor 3 nachgebildet wird. Ausgangspunkt hierfür ist, dass für jede Windgeschwindigkeit eine ideale Rotordrehzahl für die maximale Leistungsaufnahme aus der Luftströmung angegeben werden kann. Hierzu wird auf die voranstehende Darlegung zur Fig. 2 verwiesen. Als weitere Bedingung ist gleichzeitig eine im Wesentlichen konstante Ausgangsdrehzahl des Antriebsstrangs für den elektrischen Generator vorgegeben. Im vorliegenden Fall liegt diese bei 1500 U/min mit einer Netzfrequenz von  $f = 50$  Hz. Die notwendigen Umlaufgeschwindigkeiten der Getriebekomponenten des Leistungsverzweigungsgetriebes, etwa des Hohlrades 17 und des Sonnenrades 9, können nun unter Beachtung dieser Vorgaben für jede Windgeschwindigkeit im Teillastbereich festgelegt werden. Hierzu ist zu beachten, dass der Antriebsstrang die parabolische Leistungsaufnahmekarakteristik für eine im Wesentlichen konstant bleibende Stellung des Reaktionsglieds 15 des hydrodynamischen Stellwandlers 12 nachbilden muss.

Fig. 3 stellt an Hand einer Ausgestaltung des Ausführungsbeispiels gemäß Fig. 1 die sich am Antriebsstrang einstellenden Drehzahlen sowie die in den einzelnen Zweigen übertragenden Leistungen dar. Im Einzelnen zeigt die Kurve A die Drehzahl der Abtriebswelle 10, Kurve B die Drehzahl des Turbinenrads 14 des hydrodynamischen Stellwandlers, Kurve C die Drehzahl der Eingangswelle 2 und die Kurve D die Drehzahl auf dem Hohlrad 17 des Leistungsverzweigungsgetriebes 5. Für die Leistungsflüsse stellt die Kurve F die vom Windrotor aufgenommene Leistung dar, Kurve E ist die Leistung auf dem Sonnenrad 9 des hydrodynamischen Stellwandlers 12, Kurve G die vom Antriebsstrang übertragene Leistung zum elektrischen Generator und Kurve H gibt die über den zweiten Leistungszweig 18 vom hydrodynamischen Stellwandler auf das Leistverzweigungsgetriebe 5 zurückfließende Leistung.

Fig. 4 zeigt nochmals den Leistungsfluss für das Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 1 sowie die Einstellung des Reaktionsglieds 15 des hydrodynamischen Stellwandlers, im vorliegenden Fall des Leitrads. Die Leistungsflusskurven E, F, G und H entsprechen jenen aus Fig. 3. Sichtbar ist, dass bei einer optimalen Leistungsaufnahme entlang der Parabolik, die durch die Charakteristik des Antriebsstrangs nachgebildet werden kann, mit einer über den gesamten dargestellten Teillastbereich mit einer im Wesentlichen gleich bleibenden Leitschaufelstellung gearbeitet werden kann. Diese Einstellung wird nachfolgend als die justierte Einstellung des hydrodynamischen Wandlers bezeichnet. Es ist also keine Regelung des Reaktionsglieds im eigentlichen Sinne nötig, um die Konstanz der Ausgangsdrehzahl des Antriebsstrangs zur Beschickung des elektrischen Generators bei gleichzeitiger variabler optimaler Windrotordrehzahl zu erreichen. Hierbei wird darauf verwiesen, dass die Steilheit der die Leistungsaufnahme charakterisierenden Parabel durch die Übersetzungsdimensionierung der Komponenten des Leistungsverzweigungsgetriebes wie durch die Dimensionierung des hydrodynamischen Stellwandlers eingestellt werden kann. Diese Charakteristik des erfindungsgemäßen Antriebsstrangs wird in der vorliegenden Anmeldung als Selbstregelung bezeichnet.

Verallgemeinert zeigt Fig. 1 einen leistungsverzweigten Antriebsstrang, welcher einen hydrodynamischen Kreislauf 12 aufweist, der Leistung aus dem Hauptstrang mit dem der elektrische Generator 11 angetrieben wird abzweigt bzw. rückwirkend auf das Leistungsverzweigungsgetriebe 5 überträgt. Auch ist es denkbar, den Antriebsstrang so zu konstruieren, dass vom Leistungsverzweigungsgetriebe 5 über den hydrodynamischen Stellwandler auf den ersten Leistungszweig 7 eine Teilleistung eingeleitet wird. Hierbei ist es möglich, als hydrodynamischen Kreislauf 12 einen hydrodynamischen Stellwandler, eine hydrodynamische Kupplung oder einen Trilowandler einzusetzen. Wie voranstehend dargestellt, besteht bei der Verwendung eines hydrodynamischen Stellwandlers der Vorteil einer Selbstregelung aufgrund der Übereinstimmung zwischen der

Leistungsaufnahmeverhältnis eines Windrotors und der Eigencharakteristik des hydrodynamischen Stellwandlers. Im Gegensatz hierzu muss bei der Wahl einer hydrodynamischen Kupplung als hydrodynamischer Kreislauf 12 der Leistungsfluss zwischen den Kupplungshälften aktiv geregelt werden, wobei die hierfür notwendigen Mess- und Stellmittel sowie der jeweils gewählte Regler im Rahmen des fachmännischen Ermessens gestaltet werden können. Gleichwohl ergeben sich für hydrodynamische Kupplungen in bestimmten Anwendungen Vorteile. Dies ist insbesondere darin begründet, dass sich mit einer Kupplung auf einfache Art und Weise die Abregelung der Windkraftanlage beim Eintritt des Vollastbereichs unterstützen lässt, dies ist insbesondere für große, für den Einsatz auf offener See projektierte Windkraftanlagen von Vorteil. Der Trilowandler wiederum kann in bestimmten Betriebsbereichen wegen seiner hohen Effizienz als alternativer hydrodynamischer Kreislauf 12 bevorzugt werden.

In Fig. 5 ist eine Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Antriebsstrangs skizziert, bei der als hydrodynamischer Kreislauf eine hydrodynamische Kupplung verwendet wird. Die weiteren Komponenten des Antriebsstrangs sowie die Leistungsflüsse entsprechen jenen nach Fig. 1. Die vom Antrieb über die Eingangswelle 2 auf das Leistungsverzweigungsgetriebe 5 übertragene Leistung wird in einen ersten Leistungszweig 7 und einen zweiten Leistungszweig 18 aufgeteilt, wobei im dargestellten Ausführungsbeispiel im zweiten Leistungszweig 18 Leistung in Antriebsrichtung, d.h. zum Leistungsverzweigungsgetriebe, zurückfließt. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel wird ein Planetenradgetriebe zur Leistungsverzweigung verwendet. Hierbei erfolgt der antriebsseitige Leistungseintrag über die Planetenradträger 6. Außerdem sind die beiden Leistungszweige so ausgebildet, dass eine Wirkverbindung zwischen dem Sonnenrad 9 und dem ersten Leistungszweig 7 sowie dem Hohlrad 17 und dem zweiten Leistungszweig 18 besteht. Entsprechend der Ausgestaltung nach Fig. 1 dient ein im zweiten Leistungszweig 18 zwischengeschaltetes Planetengetriebe 16 der Drehzahlsteigerung auf der Abtriebswelle 10 und damit der Effizienzsteigerung des hydrodynamischen Kreislaufs 12, dies ist jedoch optional.

Ferner ist in Fig. 5 eine hydrodynamische Kupplung mit einem wenigstens mittelbar mit dem ersten Leistungszweig 7 bzw. der Abtriebswelle 10 verbundem Pumpenrad 13 und einem wenigstens mittelbar mit dem zweiten Leistungszweig verbundem Turbinenrad 14 dargestellt. Mit dem Bezugssymbol 25 ist eine Befüllungsvorrichtung bezeichnet, die dazu dient, den Füllstand des Betriebsmittels in der hydrodynamischen Kupplung und damit die Leistungsübertragung zwischen dem Pumpenrad 13 und dem Turbinenrad 14 einzustellen. Durch weitere in Fig. 5 nicht im Einzelnen dargestellte Mittel zu Messung und Regelung wird die konstant zu haltende Drehzahl der Abtriebswelle 10 gemessen und vorzugsweise der Füllstand des Betriebsmittels in der hydrodynamischen Kupplung mittels der Befüllungsvorrichtung 25 so geregelt, dass die Drehzahl auf der Abtriebswelle 10 im Wesentlichen auf einem konstanten Sollwert gehalten wird.

Generell wird als hydrodynamischer Kreislauf 12 ein solcher verwendet, der zumindest im gewissen Grade in seiner Leistungsaufnahme und seiner Leistungsabgabe regelbar ist. Für die vorliegende Aufgabenstellung und insbesondere für den Einsatz in Windkraftanlagen ist die Regelbarkeit dieser hydrodynamischen Komponente von entscheidender Bedeutung.

Im Rahmen des fachmännischen Könnens ist es möglich, den erfindungsgemäßen Antriebsstrang unterschiedlich auszustalten. Hierbei wird im Folgenden zwischen zwei erfindungsgemäßen Varianten des Leistungsflusses unterschieden, was anhand von Beispielen in den Fig. 6a, 6b, 6c zum einen und den Fig. 7a, 7b, 7c zum anderen dargestellt ist. Die Bezugssymbole für übereinstimmende Komponenten des Antriebsstrangs sind entsprechend zu Fig. 1 gewählt.

Das Leistungsflussschema aus Fig. 6a entspricht jenem aus Fig. 1, wobei durch das Leistungsverzweigungsgetriebe 5 die über die Eingangswelle 2 eingebrachte Leistung, hier bei der Drehzahl  $n_1$ , auf einen ersten Leistungszweig 7, der wenigstens mittelbar einen elektrischen Generator antreibt und die konstante

Ausgangsdrehzahl  $n_2$  aufweist, und einen zweiten Leistungszweig 18 aufgeteilt wird.

Kennzeichnend für die in den Fig. 6a, 6b, 6c gezeigte erste Ausgestaltungsvariante ist, dass über den zweiten Leistungszweig 18 Leistung in Form von Blindleistung auf das Leistungsverzweigungsgetriebe 5 zurückfließt. Bevorzugt ist auch die übereinstimmende Verbindung des ersten und des zweiten Leistungszweigs 7, 18 über den hydrodynamischen Kreislauf 12, wobei bevorzugt das Pumpenrad 13 wenigstens mittelbar mit dem ersten Leistungszweig 7 und das Turbinenrad 14 wenigstens mittelbar mit dem zweiten Leistungszweig 18 verbunden sind.

Die in den Fig. 6a, 6b, 6c skizzierten Ausgestaltungsunterschiede ergeben sich aus der Art der Leistungsverzweigung im Leistungsverzweigungsgetriebe 5. Nach Fig. 6a erfolgt die Leistungseinleitung über den Planetenradträger 6, der erste Leistungszweig 7 steht in Wirkverbindung mit dem Sonnenrad 9 und der zweite Leistungszweig 18 ergibt eine Rückwirkung auf das Hohlrad 17. Nach Fig. 6b erfolgt die Leistungseinleitung über das Hohlrad 17, der erste Leistungszweig 7 steht wiederum in Wirkverbindung mit dem Sonnenrad 9 und der zweite Leistungszweig 18 ist wenigstens mittelbar mit dem Planetenradträger 6 verkoppelt. Gemäß Fig. 6c kann bei einer Leistungseinleitung über den Planetenradträger 6 der erste Leistungszweig 7 in Wirkverbindung mit dem Hohlrad 17 und der zweite Leistungszweig 18 in Wirkverbindung mit dem Sonnenrad 9 treten. Ferner ist es möglich, zusätzliche Getriebe als Standgetriebe in den Leistungszweigen zwischenzuschalten, diese sind in den Ausführungsbeispielen als Planetenradgetriebe skizziert und mit den Bezugssymbolen 16 und 16.2 versehen.

Eine weitere Ausgestaltungsvariante des erfindungsgemäßen Antriebsstrangs ist in den Fig. 7a, 7b und 7c gezeigt. Im Unterschied zu den voranstehend dargestellten Ausführungsformen erfolgt hier der Leistungsfluss im zweiten Leistungszweig 18 in Vorwärtsrichtung, d.h. in Richtung der Abtriebsseite. Hierzu

ist in der Ausgestaltung nach den Fig. 7a und 7b das Pumpenrad 13 des hydrodynamischen Kreislaufs 12, hier ein hydrodynamischer Stellwandler, wenigstens mittelbar mit dem zweiten Leistungszweig 18 verbunden und über das Turbinenrad 14 besteht eine Wirkverbindung zum ersten Leistungszweig 7 und damit ein Wirkzugriff auf die mit der konstanten Drehzahl  $n_2$  umlaufende Ausgangswelle 10.

Unterschiede zwischen den Ausgestaltungen nach Fig. 7a und Fig. 7b ergeben sich aus der Art der Leistungseinleitung und der Leistungsverzweigung im Leistungsverzweigungsgetriebe 5, wobei in Fig. 7a der Planetenradträger 6 mit der Eingangswelle 2 wenigstens mittelbar gekoppelt ist und eine Wirkverbindung über das Hohlrad 17 zum zweiten Leistungszweig 18 und über das Sonnenrad 9 zum ersten Leistungszweig 7 besteht. Nach Fig. 7b kann die Leistungseinleitung auch über das Hohlrad 17 erfolgen und eine Wirkverbindung über den Planetenradträger 6 zum zweiten Leistungszweig 18 und über das Sonnenrad 9 zum ersten Leistungszweig 7 bestehen.

Ferner können wiederum unterschiedliche Zwischengetriebe in den Leistungszweigen realisiert werden, die dann beispielsweise als Planetengetriebe 16 ausgestaltet werden können. Außerdem ist es möglich, eine zusätzliche Getriebestufe 16.3 im Bereich der mittelbaren Kopplung des hydrodynamischen Kreislaufs mit den Leistungszweigen 7, 18 auszubilden. Dies ist in der Ausgestaltung nach Fig. 7b gezeigt.

Ein weiteres Ausgestaltungsbeispiel für den Leistungsfluss in Vorwärtsrichtung im zweiten Leistungszweig 18 ist in Fig. 7c dargestellt. Hier besteht eine Wirkverbindung vom zweiten Leistungszweig 18 zum hydrodynamischen Kreislauf 12 über eine Kopplung zum Pumpenrad 13, während über das Turbinenrad 14 wenigstens mittelbar Leistung in den ersten Leistungszweig 7 eingebracht wird.

Eine Weitergestaltung des erfindungsgemäßen Antriebsstrangs, der bei variabler Eingangsdrehzahl und einem variablen Leistungseintrag eine im Wesentlichen

konstante Ausgangsdrehzahl aufweist, ist in den Fig. 8a, 8b und 8d dargestellt. Im Unterschied zu den voranstehenden Ausführungsformen steht der hydrodynamische Kreislauf 12 nicht in Wirkverbindung zu einem ersten Leistungszweig 7 bzw. einer Ausgangswelle 10 des Leistungsverzweigungsgetriebes 5, die wenigstens mittelbar den elektrischen Generator antreibt. Stattdessen steuert der hydrodynamische Kreislauf 12 den Leistungsfluss auf einem zweiten Leistungszweig 18, einem Blindleistungszweig, der sowohl mit dem Leistungsverzweigungsgetriebe 5 wie auch mit der Eingangswelle 2 in wenigstens mittelbarer Verbindung steht und der Leistung auf das Leistungsverzweigungsgetriebe 5 zurückführt.

In Fig. 8a erfolgt die Leistungseinleitung auf das Leistungsverzweigungsgetriebe 5 über den Planetenradträger 6. Ebenfalls mit dem Planetenradträger 6 ist ein Standgetriebe, hier ein Planetenradgetriebe 16, verbunden, das zur Drehzahlerhöhung dient und welches das Pumpenrad 13 des hydrodynamischen Stellwandlers antreibt. Über das Turbinenrad 14 und ein zusätzliches Standgetriebe 16.2 fließt dann Leistung in Form von Blindleistung zum Sonnenrad 9 des Leistungsverzweigungsgetriebes 5 zurück. Durch die Steuerung des Blindleistungsflusses mittels des hydrodynamischen Kreislaufs 12 kann die Drehzahl der Abtriebswelle 10, die mit dem Hohlrad 17 wenigstens mittelbar verbunden ist, im Wesentlichen konstant gehalten werden. Fig. 8b und 8c zeigen weitere Ausgestaltungen dieses Prinzips, wobei jeweils die antriebsseitige Leistungseinleitung in das Leistungsverzweigungsgetriebe 5 verändert wird.

Kennzeichnend für einen hydrodynamischen Kreislauf 12 in der erfindungsgemäßen Kombination mit einem Leistungsverzweigungsgetriebe 5 ist eine gewisse Weichheit in der Reaktivität. Darunter wird eine hinreichende Dämpfung ohne Leistungsverluste für ein vorteilhaftes Regelungsverhalten ausgenutzt, welche aus den bewegten Massen des hydrodynamischen Kreislaufs 12 resultiert. Insbesondere kurzzeitige Schwankungen im System, wie sie bei Windkraftanlagen durch Abschattungseffekte oder bei Böen auftreten, können durch das erfindungsgemäße System somit gut abgedämpft werden, was einen

wesentlichen Vorteil aus regelungstechnischer Sicht bei der Konstanthaltung der Abtriebsdrehzahl des erfindungsgemäßen Antriebsstrangs darstellt.

Weiterhin kennzeichnend für die erfindungsgemäße Anordnung ist, dass sich durch die Verwendung von wenigstens einem hydrodynamischen Kreislauf 12, welcher auf das Leistungsverzweigungsgetriebe 5 zurückwirkt, eine Energiespeicherwirkung, zumindest eine kurzzeitige, realisieren lässt. Auch diese wirkt sich vorteilhaft für die Regelungscharakteristik des erfindungsgemäßen Antriebsstrangs aus.

Fig. 11 illustriert wiederum am Beispiel einer Windkraftanlage die flexible Anpassung einer Eingangsdrehzahl eines Antriebsstrangs und somit eine optimal an den Wind angepasste Rotordrehzahl, wobei gleichzeitig von einer konstanten Abtriebsdrehzahl (Generatordrehzahl) ausgegangen wird. Dargestellt sind unterschiedliche Betriebspunkte A, B und C, welche verschiedenen Leistungsbeitrügen mit den zugeordneten Rotordrehzahlen  $\omega_c$ ,  $\omega_A$  und  $\omega_B$  entsprechen. Bei Punkt A entnimmt der Rotor der Luftströmung eine optimale Leistung. In Punkt C wird nur ein Teil der möglichen Rotorleistung ausgenutzt und der hydrodynamische Kreislauf wird folglich in der Leistungsaufnahme vom Hauptstrang und der abgegebenen Leistung in der Rückführung zum Überlagerungsgetriebe so geregelt, dass der Rotor beschleunigt wird bis er den optimalen Arbeitspunkt A erreicht. Mit einem entgegengesetzten Vorzeichen findet die Regelung ausgehend vom Betriebspunkt B aus statt. Dies entspricht somit der Regelung in einem optimalen Arbeitspunkt bei konstant angenommener Windgeschwindigkeit.

Ferner ist es auch möglich, dass eine gewisse Fluktuation im Wind auftritt, wodurch sich der konstante Arbeitspunkt verschiebt. Ein Beispiel hierfür ist der Punkt D, der ebenfalls wie der Punkt A auf der Kurve optimaler Leistung liegt und einer geringeren Windgeschwindigkeit entspricht. Somit ist durch den erfindungsgemäßen Antriebsstrang auch eine zeitlich variable Eingangsleistung mit zeitlicher Variabilität in der Eingangsdrehzahl einstellbar bzw. regelbar.

Fig. 9 zeigt hierzu illustrierend ein Windprofil mit zeitlich flukturierender Windgeschwindigkeit, welche wiederum in eine optimale Rotordrehzahl umgesetzt wird. Hierbei findet eine gewisse Glättung aufgrund der Trägheit der verwendeten mechanischen Komponenten Rotor, Getriebe, hydrodynamischer Kreislauf etc. statt.

Im Allgemeinen wird im Rahmen der erfindungsgemäßen Idee, einen Antriebsstrang mit konstanter Ausgangsdrehzahl zu schaffen, auch eine solche Anordnung verstanden, welche die Ausgangsdrehzahl mit einer gewissen Genauigkeit konstant hält. Gewisse Abweichungen sind hierbei tolerierbar. Abweichungen können hierbei beispielsweise im Bereich  $\pm 10\%$ , bevorzugt  $\pm 5\%$  und besonders bevorzugt  $\pm 1\%$  der Sollausgangsdrehzahl liegen. Beim Einsatz in Windkraftanlagen bei stark mit dem Verteilernetz gekoppelten Generatoren wird jedoch eine besonders hohe Konstanz der Abtriebsdrehzahl von maximal  $\pm 0,5\%$  bevorzugt, die das zu betreibende Netz weiterführend unterstützt.

Weitere Anwendungsmöglichkeiten eines erfindungsgemäßen Antriebsstrangs über die Windkraft hinaus ergeben sich beispielsweise bei speziellen Wasserkraftwerken, in denen Turbinen eingesetzt werden, die nicht mit konstanter Drehzahl betrieben werden können. Solche Bedingungen können beispielsweise in Strömungs- und Gezeiten-Kraftwerken oder bei Spezialanordnungen in Schleusensystemen gegeben sein. Außerdem ist es denkbar, mit dem erfindungsgemäßen Prinzip natürliche und somit zeitlich variable Energiequellen, etwa die Wellenkraft, auf einen elektrischen Generator zu übertragen, der eine konstante Eingangsdrehzahl verlangt.

## Patentansprüche

1. Antriebsstrang zum Übertragen einer variablen Leistung mit variabler Eingangsrehzahl für eine Energieerzeugungsanlage angetrieben mit einer Strömungsmaschine wie einer Windturbine (3) oder einer Wasserturbine;
  - 1.1 mit einem Leistungsverzweigungsgetriebe (5) zur Aufteilung der Leistung auf wenigstens einen ersten Leistungszweig (7) und wenigstens einen zweiten Leistungszweig (18);
  - 1.2 der erste Leistungszweig (7) treibt wenigstens mittelbar einen elektrischen Generator (11) an;
  - 1.3 mittels eines, abtriebsseitig zum Leistungsverzweigungsgetriebe (5) angeordneten hydrodynamischen Kreislaufs (12) wird eine Verbindung zwischen dem ersten Leistungszweig (7) und dem zweiten Leistungszweig (18) hergestellt und durch den hydrodynamischen Kreislauf (12) der Leistungsfluss so beeinflusst, dass die Drehzahl, mit welcher der elektrische Generator (11) angetrieben wird, im Wesentlichen konstant ist.
2. Antriebsstrang zum Übertragen einer variablen Leistung mit variabler Eingangsrehzahl nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass als hydrodynamischer Kreislauf (12) ein hydrodynamischer Stellwandler oder eine hydrodynamische Kupplung oder ein Trilowandler verwendet wird.
3. Antriebsstrang zum Übertragen einer variablen Leistung mit variabler Eingangsrehzahl nach wenigstens einem der Ansprüche 1 - 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Pumpenrad (13) des hydrodynamischen Stellwandlers (12) oder der hydrodynamischen Kupplung oder des Trilowandlers auf einer schnell umlaufenden Welle des Leistungsverzweigungsgetriebes (5) angeordnet ist und die schnell umlaufende Welle eine Ausgangswelle (10) des Antriebsstrangs ist, mit welcher der elektrische Generator (11) wenigstens mittelbar verbunden ist.

4. Antriebsstrang zum Übertragen einer variablen Leistung mit variabler Eingangsdrehzahl für eine Energieerzeugungsanlage angetrieben mit einer Strömungsmaschine wie einer Windturbine (3) oder einer Wasserturbine;
  - 4.1 mit einem Leistungsverzweigungsgetriebe (5) umfassend eine Eingangswelle (2), wenigstens einen ersten Leistungszweig (7) und wenigstens einen zweiten Leistungszweig (18);
  - 4.2 der erste Leistungszweig (7) treibt wenigstens mittelbar einen elektrischen Generator (11) an;
  - 4.3 der zweite Leistungszweig (18) ist wenigstens mittelbar mit der Eingangswelle (2) verbunden und führt Blindleistung auf das Leistungsverzweigungsgetriebe (5) zurück;
  - 4.4 mittels eines im zweiten Leistungszweig (18) angeordneten hydrodynamischen Kreislaufs (12) wird der Blindleistungsfluss im zweiten Leistungszweig (18) so beeinflusst, dass die Drehzahl, mit welcher der elektrische Generator (11) angetrieben wird, im Wesentlichen konstant ist.
5. Antriebsstrang zum Übertragen einer variablen Leistung mit variabler Eingangsdrehzahl nach wenigstens einem der Ansprüche 1 - 4, dadurch gekennzeichnet, dass dem Leistungsverzweigungsgetriebe (5) ein weiteres Getriebe vorgeschaltet oder nachgeschaltet ist.
6. Antriebsstrang zum Übertragen einer variablen Leistung mit variabler Eingangsdrehzahl nach wenigstens einem der Ansprüche 1 - 5, dadurch gekennzeichnet, dass im zweiten Leistungszweig (18) ein zusätzliches Getriebe angeordnet ist, um die Drehzahl, mit der der hydrodynamische Kreislauf (12) betrieben wird, zu erhöhen.
7. Antriebsstrang zum Übertragen einer variablen Leistung mit variabler Eingangsdrehzahl nach einem der Ansprüche 1 - 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Ausgangsdrehzahl mit einer maximalen Abweichung von  $\pm 10\%$ , bevorzugt von  $\pm 5\%$  und besonders bevorzugt von  $\pm 1\%$  des Sollwerts konstant gehalten wird.

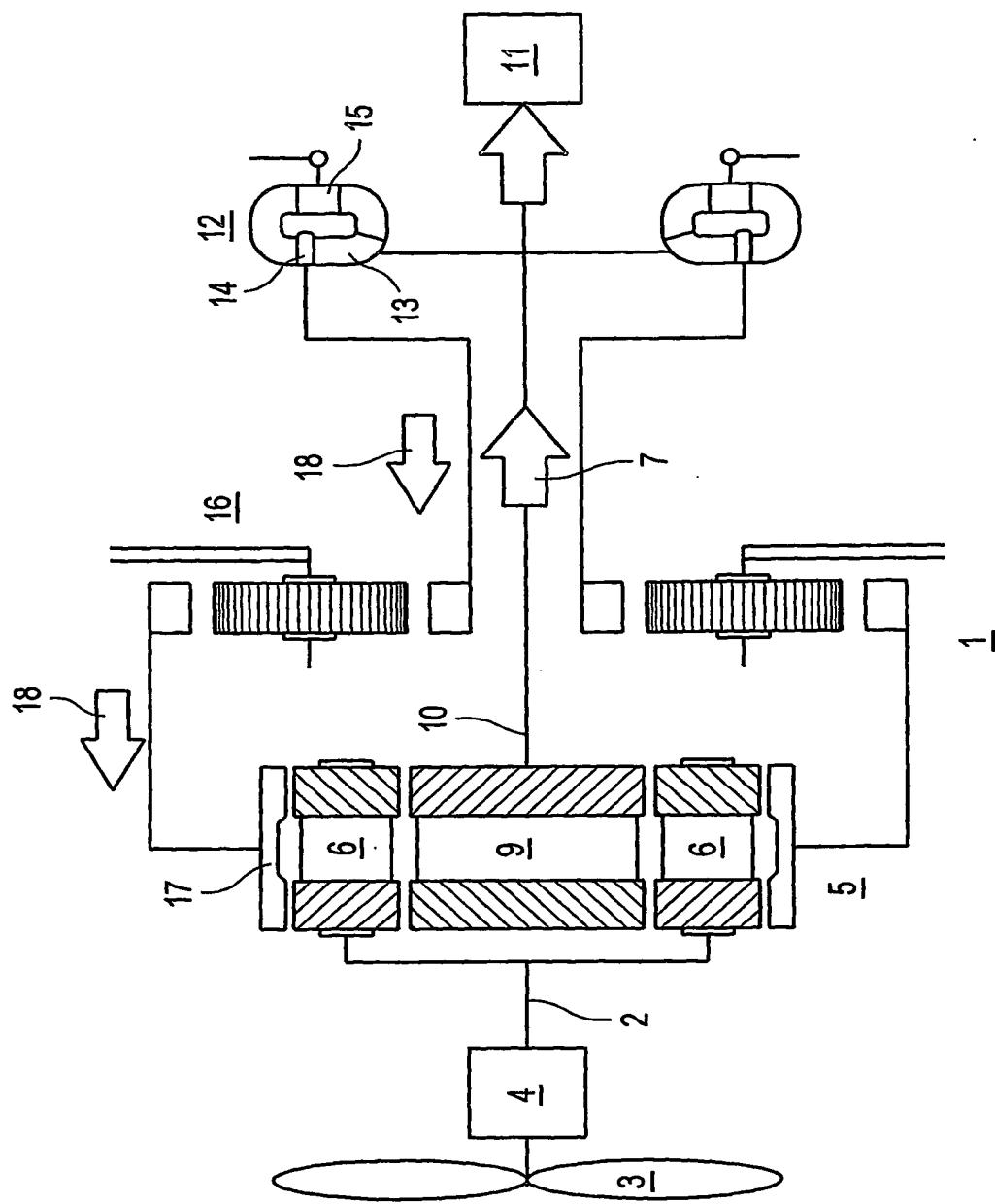


Fig. 1

Fig.2

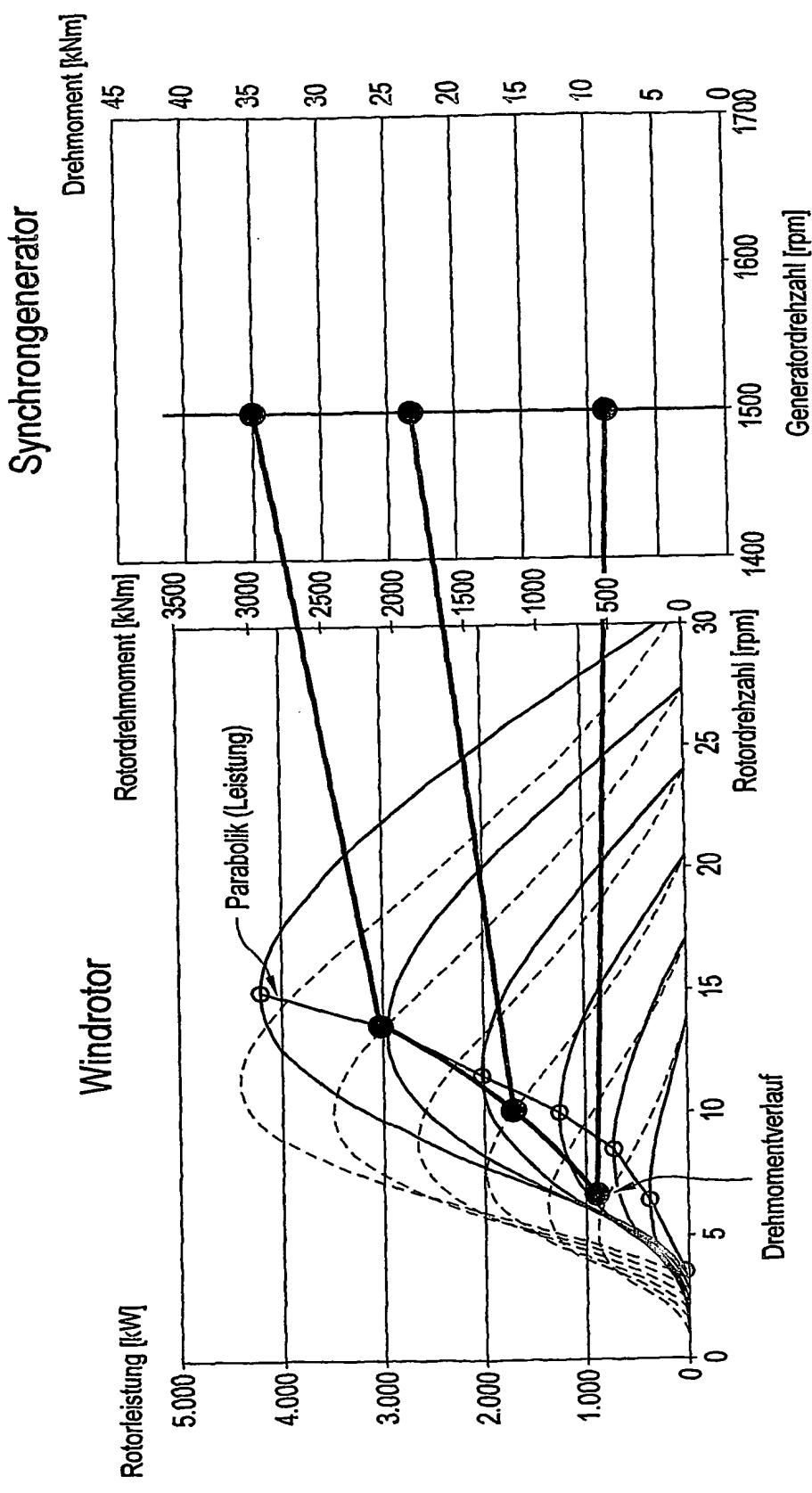


Fig.3

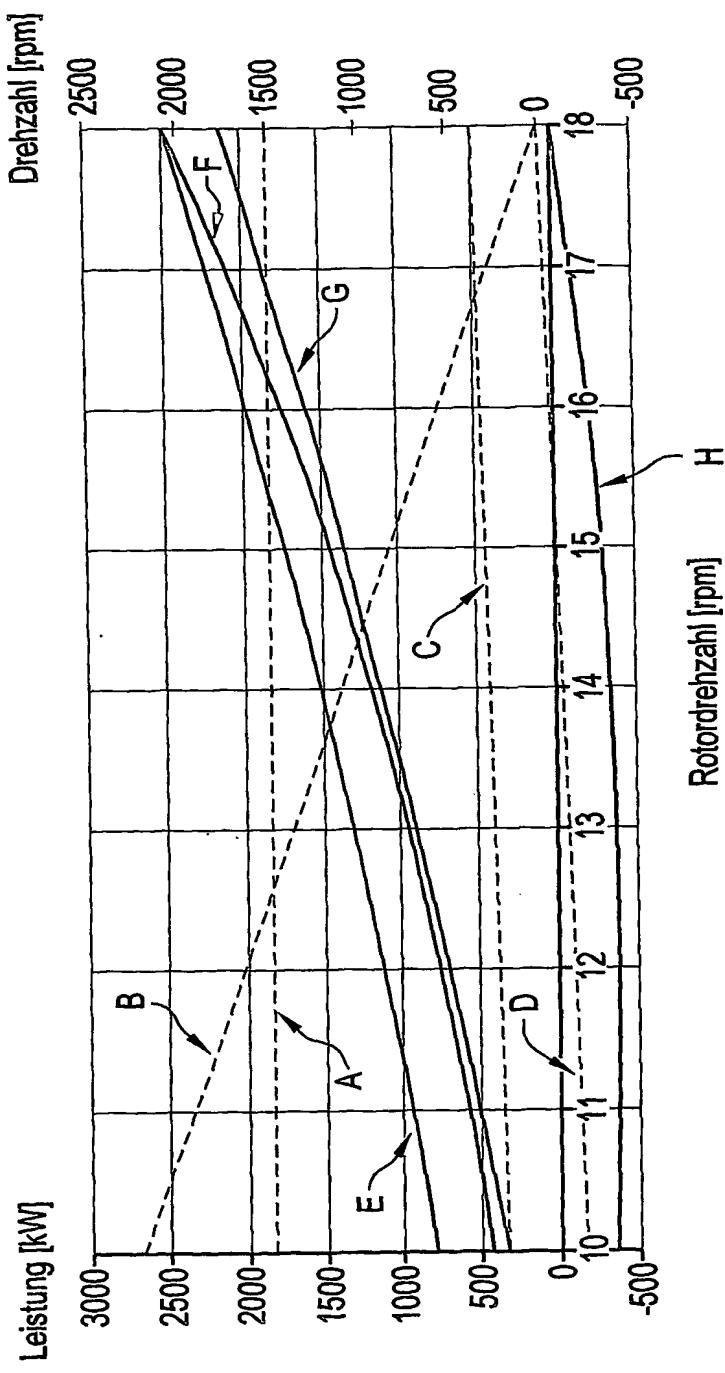
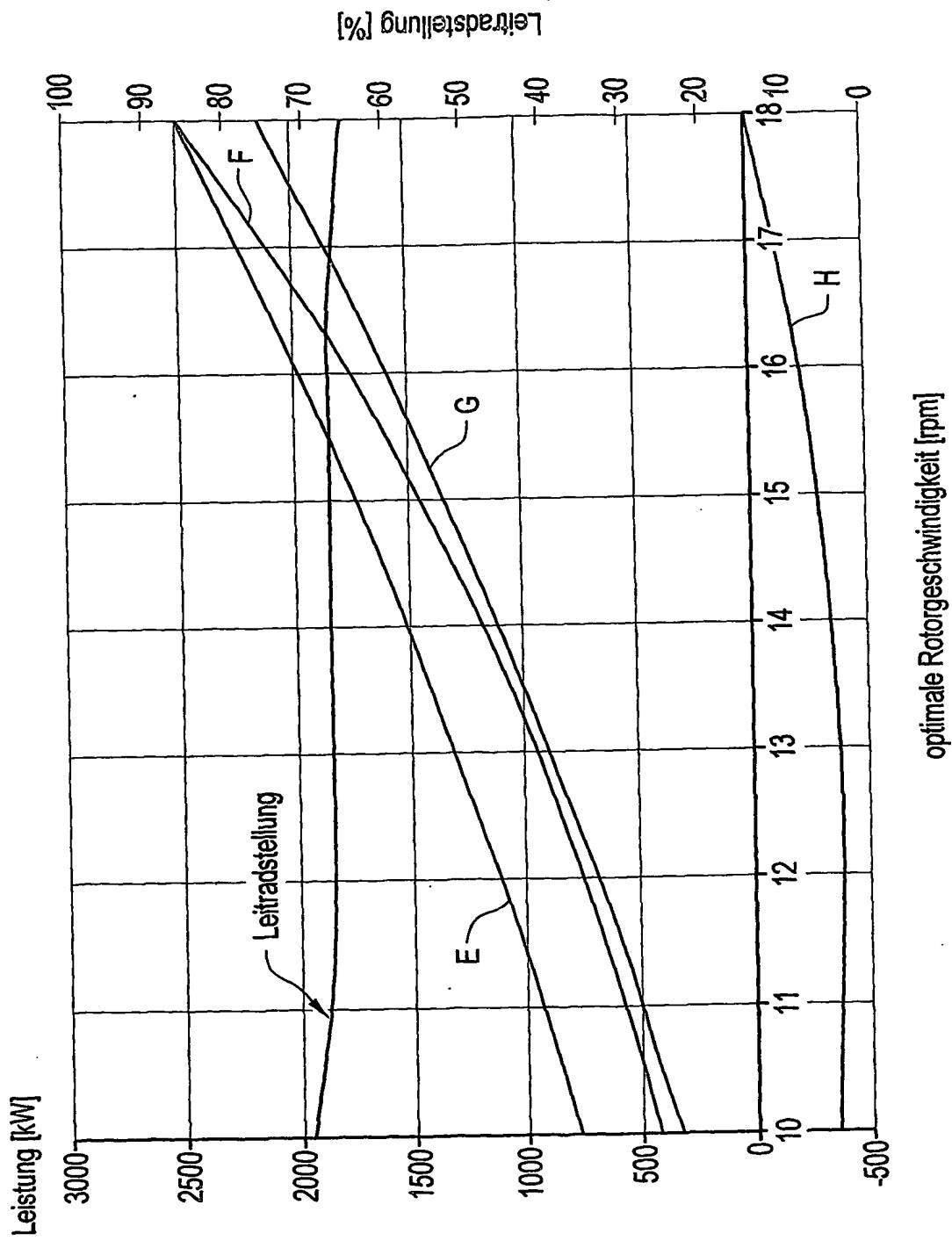


Fig.4



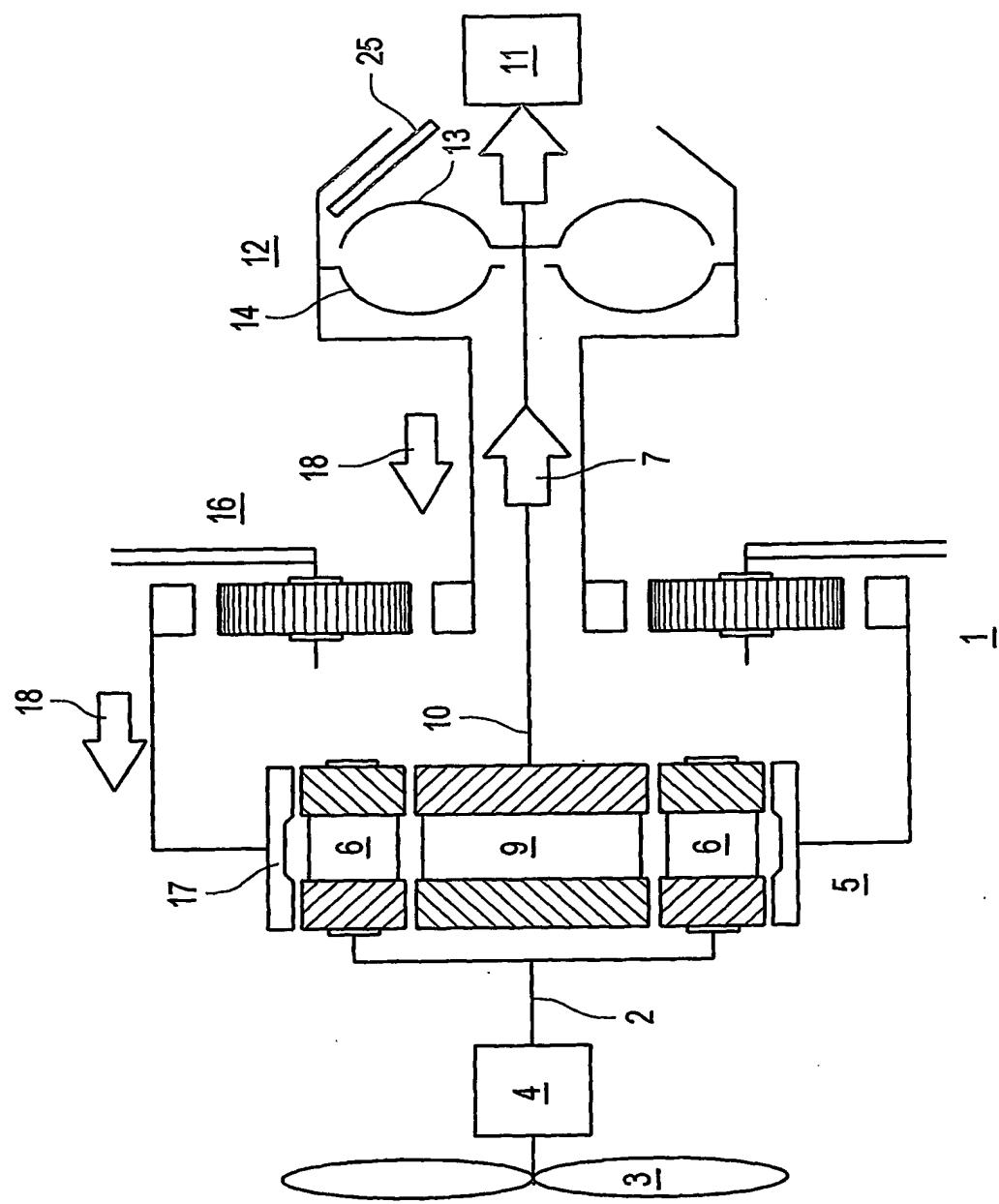


Fig.5

ERSATZBLATT (REGEL 26)

Fig.6a

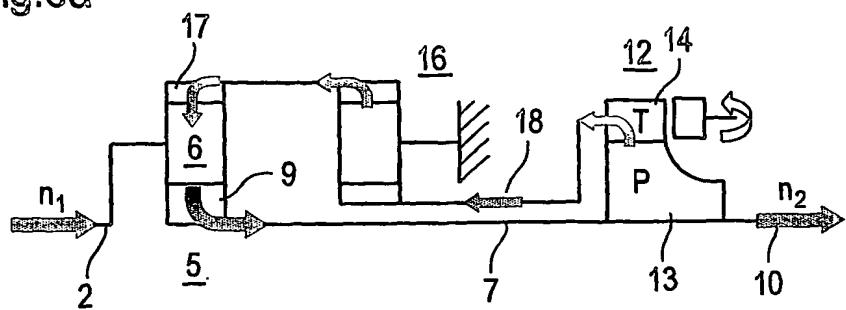


Fig.6b

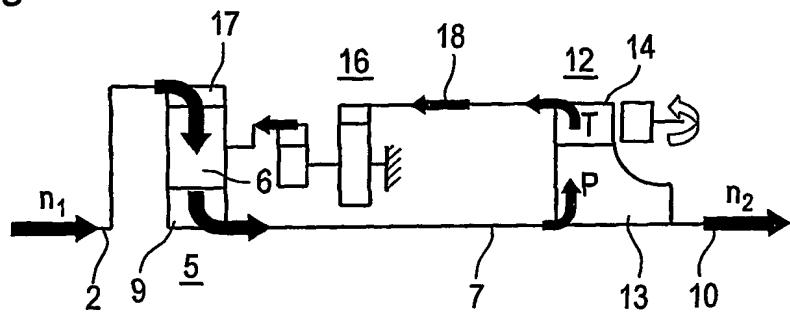


Fig.6c

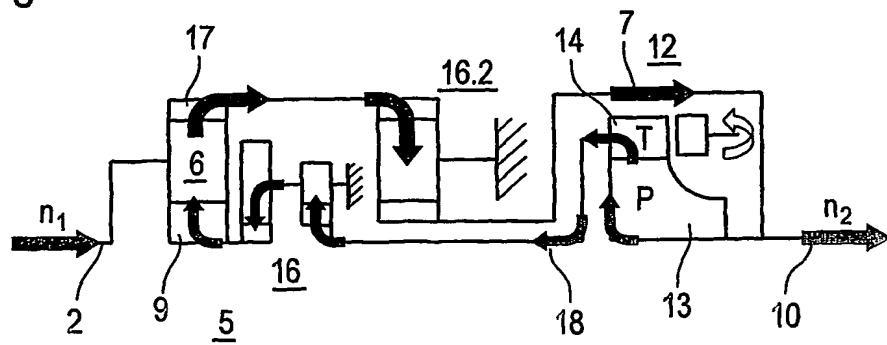


Fig.7a

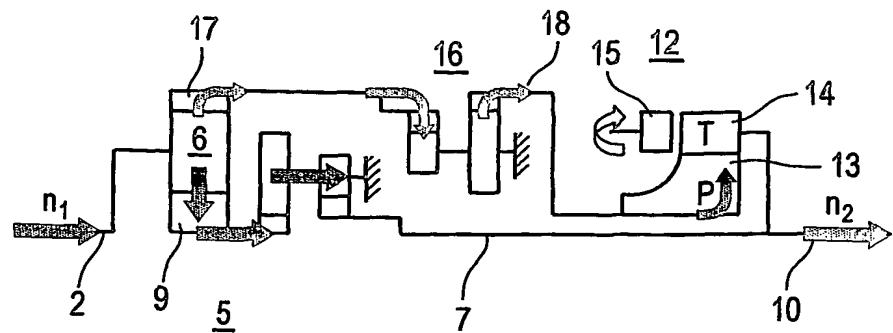


Fig.7b

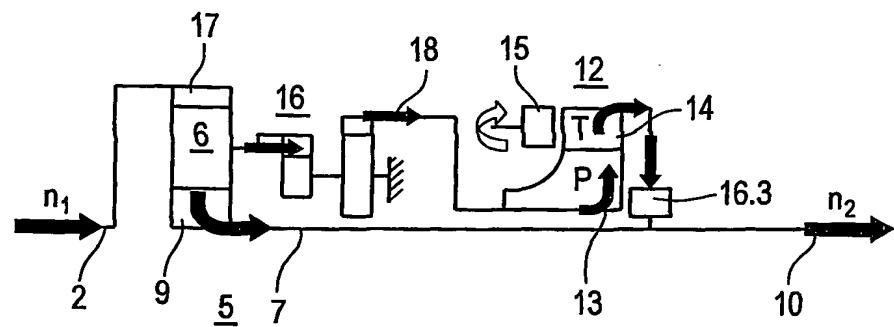


Fig.7c

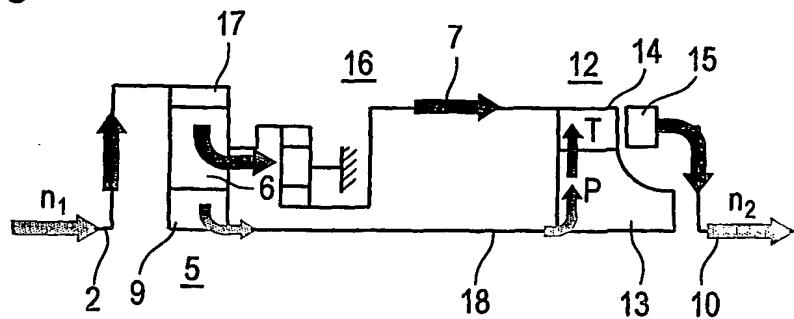


Fig.8a

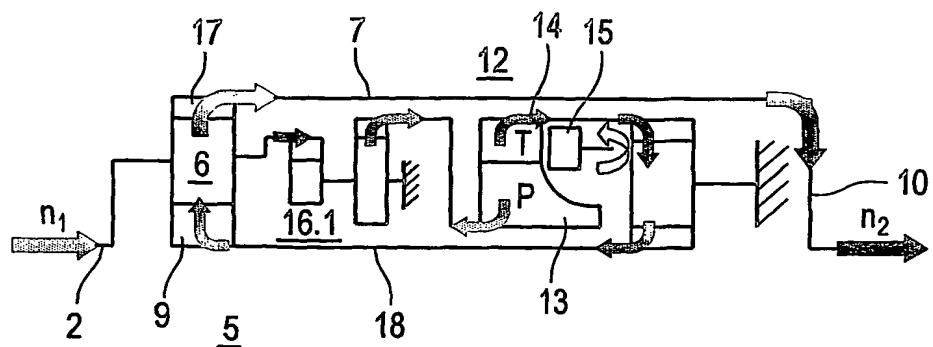


Fig.8b

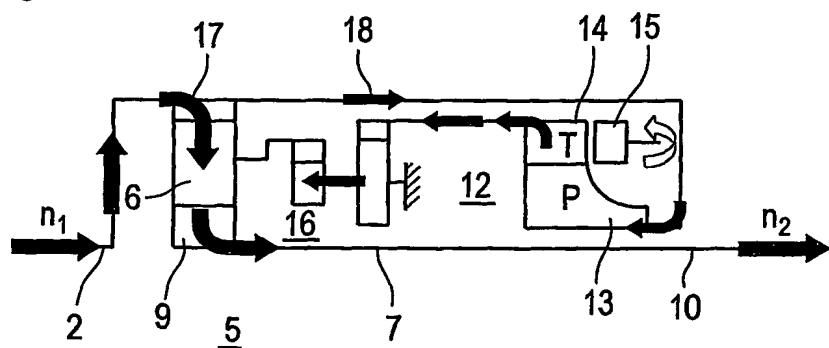


Fig.8c

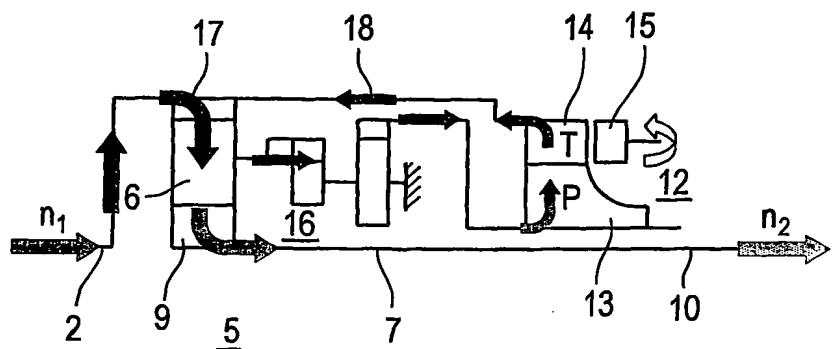


Fig. 9

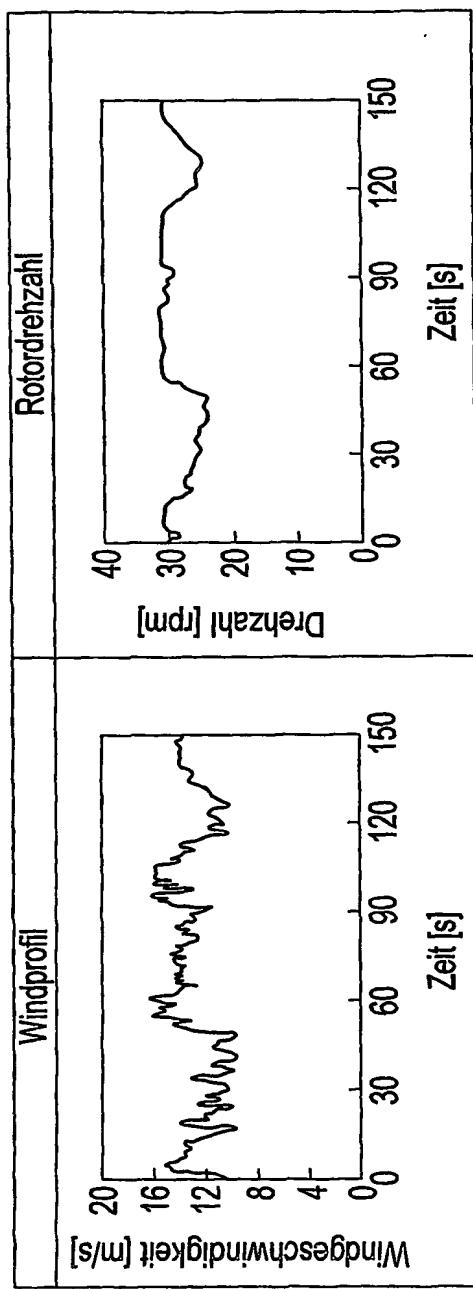


Fig.10

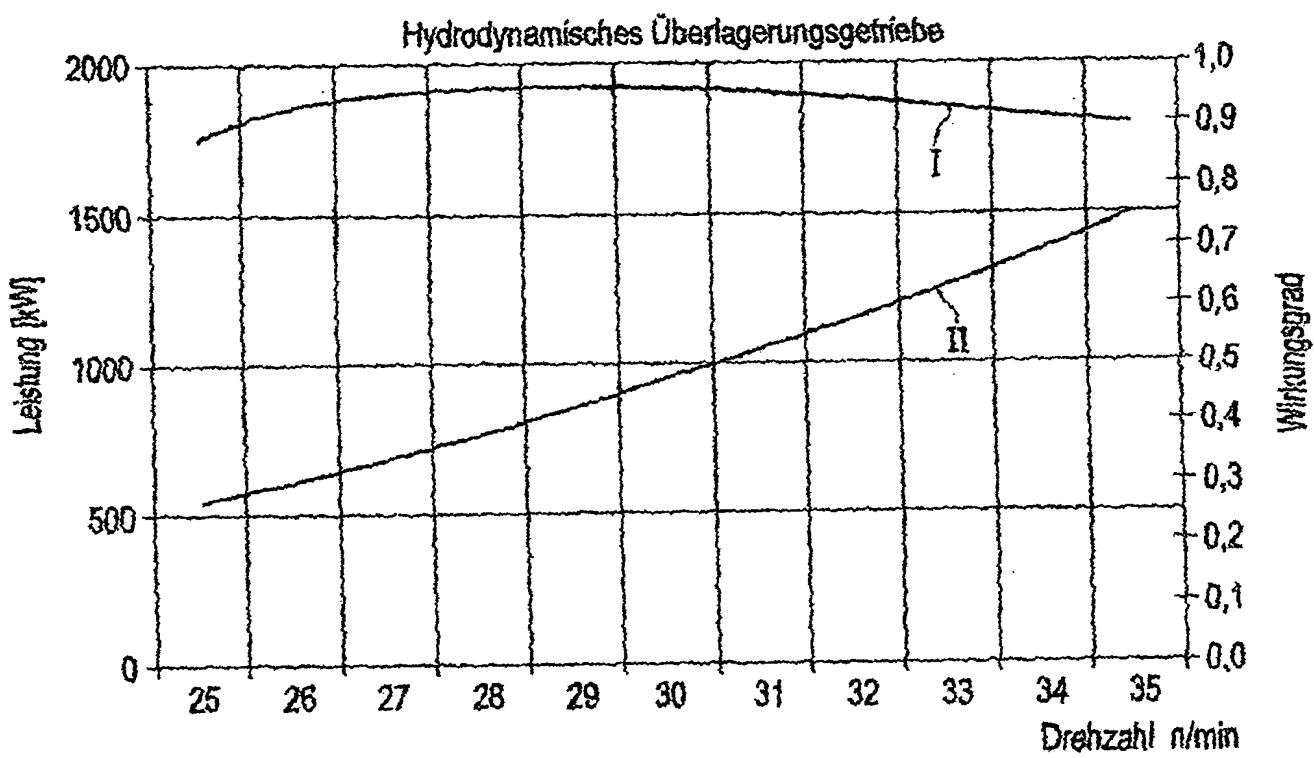
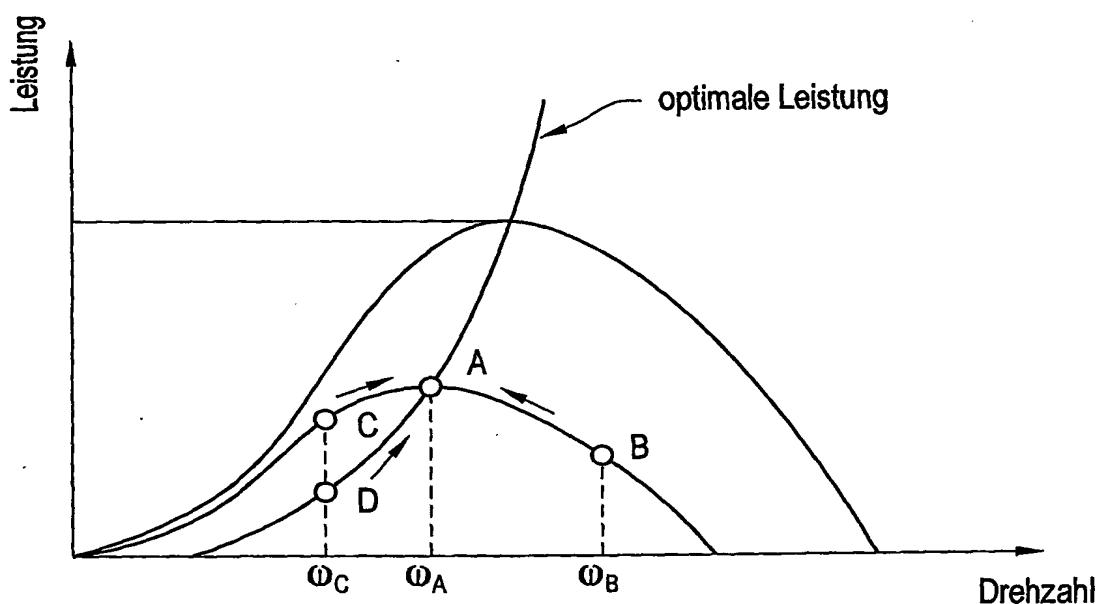


Fig.11



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/EP2004/003143A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 7 F03D7/04 F16H47/08

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 7 F16H F03D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 81/01444 A (NYGREN K ; ALLMAENNA INGBYRAN (SE)) 28 May 1981 (1981-05-28) page 1, line 1 - page 4, line 20; figure 2	1, 4, 5
A	DE 812 660 C (SIEMENS AG) 3 September 1951 (1951-09-03) the whole document	1, 4, 5
A	EP 0 120 654 A (ENGLISH ELECTRIC CO LTD) 3 October 1984 (1984-10-03) page 1, line 1 - page 7, line 15; figure 1	1, 4
A	US 4 239 977 A (STRUTMAN WARREN A) 16 December 1980 (1980-12-16) the whole document	1, 4
		-/-

 Further documents are listed in the continuation of box C. Patent family members are listed in annex.

## \* Special categories of cited documents :

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*&\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the International search	Date of mailing of the international search report
15 July 2004	27/07/2004

Name and mailing address of the ISA  
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Szodfridt, T

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/EP2004/003143

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 4 586 400 A (NYGREN INGEMAR) 6 May 1986 (1986-05-06) the whole document -----	1
A	EP 0 635 639 A (ASHOT ASHKELON IND LTD) 25 January 1995 (1995-01-25) the whole document -----	1

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP2004/003143

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)		Publication date
WO 8101444	A	28-05-1981	SE CA DK EP SE WO	419113 B 1144077 A1 295981 A 0039710 A1 7909379 A 8101444 A1		13-07-1981 05-04-1983 03-07-1981 18-11-1981 15-05-1981 28-05-1981
DE 812660	C	03-09-1951		NONE		
EP 0120654	A	03-10-1984	DE DK EP GB IN	3471978 D1 162184 A 0120654 A1 2136883 A ,B 160889 A1		14-07-1988 24-09-1984 03-10-1984 26-09-1984 15-08-1987
US 4239977	A	16-12-1980		NONE		
US 4586400	A	06-05-1986	SE	427341 B		28-03-1983
EP 0635639	A	25-01-1995	EP	0635639 A1		25-01-1995

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen  
PCT/EP2004/003143

A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
IPK 7 F03D7/04 F16H47/08

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
IPK 7 F16H F03D

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie <sup>a</sup>	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Beitr. Anspruch Nr.
X	WO 81/01444 A (NYGREN K ; ALLMAENNA INGBYRAN (SE)) 28. Mai 1981 (1981-05-28) Seite 1, Zeile 1 - Seite 4, Zeile 20; Abbildung 2	1,4,5
A	DE 812 660 C (SIEMENS AG) 3. September 1951 (1951-09-03) das ganze Dokument	1,4,5
A	EP 0 120 654 A (ENGLISH ELECTRIC CO LTD) 3. Oktober 1984 (1984-10-03) Seite 1, Zeile 1 - Seite 7, Zeile 15; Abbildung 1	1,4
A	US 4 239 977 A (STRUTMAN WARREN A) 16. Dezember 1980 (1980-12-16) das ganze Dokument	1,4
		-/-



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

- Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
- A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
- T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
- X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
- Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
- & Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

15. Juli 2004

Absendedatum des Internationalen Recherchenberichts

27/07/2004

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Szodfridt, T

## INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2004/003143

## C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie <sup>o</sup>	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 4 586 400 A (NYGREN INGEMAR) 6. Mai 1986 (1986-05-06) das ganze Dokument -----	1
A	EP 0 635 639 A (ASHOT ASHKELON IND LTD) 25. Januar 1995 (1995-01-25) das ganze Dokument -----	1

## INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen  
PCT/EP2004/003143

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
WO 8101444	A	28-05-1981	SE CA DK EP SE WO	419113 B 1144077 A1 295981 A 0039710 A1 7909379 A 8101444 A1		13-07-1981 05-04-1983 03-07-1981 18-11-1981 15-05-1981 28-05-1981
DE 812660	C	03-09-1951		KEINE		
EP 0120654	A	03-10-1984	DE DK EP GB IN	3471978 D1 162184 A 0120654 A1 2136883 A ,B 160889 A1		14-07-1988 24-09-1984 03-10-1984 26-09-1984 15-08-1987
US 4239977	A	16-12-1980		KEINE		
US 4586400	A	06-05-1986	SE	427341 B		28-03-1983
EP 0635639	A	25-01-1995	EP	0635639 A1		25-01-1995